土壤肥力診斷在水稻精準施肥管理之應用

王鐘和[*1]、江志峰[1]、申雍[2]
[1]行政院農業委員會農業試驗所農業化學組
[2]國立中興大學土壤環境科學系
E-mail: chwang@wufeng.tari.gov.tw

摘要 ---------- 122

一、前言 ---------- 122

二、方法簡述 ---------- 123

三、結果與討論 ---------- 124

四、結論 ---------- 130

五、誌謝 ---------- 131

六、引用文獻 ---------- 131

ABSTRACT ---------- 132

土壤肥力診斷在水稻精準施肥管理之應用

王鐘和 [1*]、江志峰 [1]、申雍 [2]
[1] 行政院農業委員會農業試驗所農業化學組
[2] 國立中興大學土壤環境科學系
E-mail: chwang@wufeng.tari.gov.tw

摘 要

本研究依據現行水田土壤肥力診斷推薦施肥技術，設置氮、磷、鉀肥不同用量處理，並設置氮肥高量及磷鉀肥足量施用之農家慣用量區為對照，探討不同肥料用量處理水稻各生育時期、階段之乾物累積及要素吸收量之變化及產量之差異。結果顯示：氮素施用 210 kg/ha 的對照區較依現行推薦用量 130 kg/ha 的各處理區，其產量增加約 18％，推薦量區與對照區的乾物質產量相比較，抽穗期時明顯較少，達統計上的差異。較低磷肥用量區(P_2O_5 15 kg/ha)水稻在幼穗形成期至抽穗期之乾物累積量明顯較其他處理少，而氮、磷、鉀要素之吸收量此時也明顯較低，甚至抽穗期至收穫期之間之吸收量也較其他處理低，而高量肥料區之水稻在抽穗期時已生產大量乾物及吸收多量氮、磷及鉀素，因而在抽穗期以後之增加量也明顯較少。水稻幼穗形成期植株之磷濃度與單位面積的穀粒數呈顯著正相關，惟其對產量的影響幅度較少，不似氮肥具有明顯的增產效應。稻穀產量與幼穗形成期植株氮含量呈極顯著正相關，顯示氮肥的影響甚大，且明顯高於磷鉀肥的影響。應用土壤肥力診斷，來推薦磷肥用量係依據前人研究之成果，為代表各種條件之平均值，而本期作之氮條件有利於水稻生長及乾物生產，因生長量增加故對營養元素的需求也增加，因依現行土壤磷肥力診斷具較高有效磷含量，而施用較低量磷肥之處理區，水稻明顯呈現磷肥供應不足，影響水稻生育及稻穀生產。另，磷、鉀要素對水稻產量之影響明顯較氮素小。

關鍵詞：水稻 、土壤肥力診斷 、精準施肥 。

一、前 言

水稻為臺灣地區栽培面積最多的作物，合理之肥培管理除了其經濟意義外，積極的更有維護生態環境之意義。水稻的生育受品種、氣候環境、栽培方法及土壤肥力等因素影響，本省已往亦累積相關之試驗結果釐訂有稻田之氮肥、磷肥及鉀肥之推薦用量，使水稻之施肥推薦邁向科學化。近年來在複作制度下，由於不同作物之施肥情況截然不同，上作施肥所殘留肥分和作物殘體對次作物之養分吸收將有莫大影響(Hayami,1975)，故土壤養分之測定及作物需肥性之診斷益加重要。水稻對三要素之反應以氮素最為敏感，氮素缺乏則發育不良，產量不高，但施用過量，或施用時期不當，易因生長過旺導致罹患病蟲害或引起倒伏而減產。水稻自播種至收穫之任何階段均可吸收

氮素。前人研究(張和洪，1979)指出以含有穩定低濃度氮素的養液栽培水稻，已能使水稻生長良好，但就各生育階段所吸收氮素對稻穀生產之效率而言，則以分蘖盛期及幼穗形成期爲最大。分蘗盛期及幼穗形成期氮素養分充足與否，影響穗數、稔實率及千粒重，因此欲穫高產，必需在這兩個時期充分供應氮素肥料。

對大多數禾本科作物而言，產量構成要素之組成相似，各要素間具有互補性(Dofing and Knight,1994)，經由產量構成要素之調查，可進一步瞭解稻穀生產之豐歉程度。每個產量構成要素在植株全生育期中有其決定之特定時期，移植栽培制度下，單位面積之穗數取決於分蘗數，該數主要決定於分蘗盛期，有效分蘗數增加可促進稻穀產量的增加;水稻穎花爲乾物質積儲之場所，穎花數多寡爲產量收穫之基礎，每穗穎花數決定於生殖生長期時(尤其在枝梗和穎花分化朝時)，單位面積穎花數會受到栽培方式、生長特性及氣候條件等因子的影響;稔實穀粒數爲產量高低之決定因子，稔實率由抽穗前後環境所決定，高氮肥施用、溫度太高或太低及低日射量皆會導致不稔實率(sterility percentage)增加;穀粒之碳水化合物受稻穀(穎花)所包覆，因穀粒大小較爲固定，故千粗重爲一穩定且變異程度較小之水稻品種特性(張和曾，1982)。收穫指數(harvest index)爲另一影響產量之性狀，不論水稻、小麥或玉米等作物，其收穫指數皆因品種不同而有所差異，收穫指數是品種特性之一(朱，1975)，但也會受到環境因子(土壤肥力、栽植密度、水分、氣候條件及生長季節)的影響。

水稻的肥料需要量受到品種、栽培技術、環境（含氣候環境及土壤環境），我國現行水稻施肥技術，係考量品種特性及氣候環境等因素，配合土壤養分速測方法之研究，求得施肥效應與土壤有效磷、鉀含量之相關，爲磷、鉀需要量推薦之依據。根據前人累積之試驗結果，乃有三要素用量標準（Su, 1972、1975）；其中氮素係以品種別、期作別和土類別推薦，而磷鉀則依據土壤有效磷、鉀之測値推薦。此等標準並經前農林廳肥料技術小組定期修訂，編印施肥手冊（作物施肥手冊，1996）提供推廣人員及農友應用。本試驗依循該手冊規定進行土壤肥力診斷，並據以設置各種肥料用量試區，另參考農家慣常氮肥施用量設置氮、磷、鉀肥高量施用區作爲對照，以驗證及探討應用現行水稻栽培肥力診斷推薦施肥技術對水稻臺農 67 號生育及稻穀生產之效應。

二、方法簡述

(一)試驗地點：

農業試驗所精準農業試驗田區，81 和 83 號田(砂頁岩非石灰性新沖積土，七塊厝系)，各田區之半(25×100 m)劃分爲 12.5×12.5 m 之 16 塊小試區，供土壤肥力診斷推薦磷、鉀肥用量，另半區(25×100 m)則分爲 4 塊 25×25 m，爲農家傳統施肥區，各試區之土壤肥力狀態與性質，如表 1，兩塊田面積合計 1 公頃。

Table 1. Soil Fertility and properties in the experiment (2003 1st crop)

	pH (1:1)	$EC_{1:1}$ x (μS cm^{-1})	OM y (%)	Bray 1 P z (mg kg^{-1})	Exch. K* (mg kg^{-1})	Exch.Ca* (mg kg^{-1})	Exch. Mg* (mg kg^{-1})
Min	4.9	45.2	0.85	6.87	34.0	576	83.5
	～	～	～	～	～	～	～
Max	6.3	155	1.47	41.2	86.5	1218	139

x：electrical conductivity of 1:1 soil/water mixture.
y：organic matter
z：available P
*：exchangeable K, Ca, Mg

(二) 試驗作物：水稻 (*Oryza sativa* L.)臺農 67 號。

(三) 試驗方法：

本試驗各將兩塊田四個不等量氮肥區自東西向劃分成一半，一半爲對照區(CK)其施肥量爲農民慣施量 N：P_2O_5：K_2O 爲 210：70：70 kg/ha 的施用水準量，另一半則在劃分成 16 小區，每一小區面積約 0.0156 公頃，肥料施用量，因兩試區之土壤有機質含量均不高，故氮素採現行一期作水稻之推薦量 130 kg/ha，磷鉀素則依其磷、鉀肥力測值，參照本省「作物施肥手冊」中水稻部份推薦量，磷肥分別區分 15、30、50 kg/ha 的等級(如表2)(作物施肥手冊，1986)，分別以 P_{15}、P_{30}、P_{50} 表示，鉀肥則區分爲 15、40 kg/ha 的等級(如表 3)(作物施肥手冊，1986)，分別以 K_{15}、K_{40} 表示。施肥方法除磷肥採基肥全量施用外，氮肥採基肥 25 %，第一次追肥 20 %，第二次追肥(穗肥) 30 %，第三次追肥 25 % 量的施用，鉀肥採基肥 40 %，第一次追肥 20 %，第二次追肥(穗肥) 40 % 量的施用。

Table 2. Recommended P_2O_5 rates in the experiment of soil P fertility diagnosis(2003 1st crop).

Phosphorus (Bray P-1)	ppm(μg g^{-1}) in soil	5.1～12.0	12.1～30.0	〉30.0
	Relative level	Medium	High	Very high
Recommended P_2O_5 (kg ha^{-1})		50	30	15

Table 3. Recommended K_2O rates in the experiment of soil K fertility diagnosis (2003 1st crop).

Potassium (Ammonium Acetate, pH 7)	ppm(μg g^{-1}) in soil	31～50	＞50
	Relative level	Medium	High
Recommended K_2O (kg ha^{-1})		40	15

(四) 試驗時間：2003 年水稻第一期作。

(五) 調查及分析項目：

1.調查分蘗盛期、幼穗形成期、抽穗期、成熟期之植體地上部乾物重及氮、磷、鉀要素含量。

2.收穫期之植體每叢穗數、百粒重、穗粒數及其他農藝性狀。

三、結果與討論

(一)不同肥料處理對稻穀產量及收量構成要素的影響

各處理區水稻稻穀產量及收量構成要素的資料列於表四，每叢穗數以高量肥料量 $N_{210}P_{70}K_{70}$（CK）處理之 19.1 穗爲最高，較其他依現行水稻肥料推薦量施肥之各處理區平均之 17.0 增加約 12 %，顯示肥料用量增加可促進植株分蘗，增加每叢穗數，前人報告也指出水稻生育明顯受到肥料用量之影響，尤其是氮肥，其施用量與穗數成正比（王等，2002a；連，1996；張及楊，1965），該處理稻穀產量也高於其他推薦量處理區之平均約 18 %。值得注意的是推薦量處理中每穗粒數以 $N_{130}P_{15}K_{15}$ 處理爲最低，平均每穗 86 粒，因而

其產量也較低。合併各處理，分別比較不同磷、鉀肥處理對於稻穀產量與收量構成要素的影響，如表 5 及表 6，表 5 中 $N_{130}P_{15}$處理每之穗粒數較低，但其產量與 $N_{130}P_{30}$和 $N_{130}P_{50}$無差別，而不同鉀肥用量處理中，$N_{130}K_{15}$ 處理與 $N_{130}K_{50}$ 處理間則無明顯差異(表 6)，$N_{210}P_{70}K_{70}$(CK)處理之稻穀產量明顯較高，應與其氮肥用量較高有關，而非較高鉀肥的影響。由以上之資料可知；若是依循現行水田土壤診斷技術判定具有較高磷肥力的田區，據此而推薦較少磷肥的用量，反而有磷供應不足，而影響稻穀產量的現象。

由於今年一期作水稻生育期間的氣候條件與過去十年的平均值相較，降雨日數較過去十年同期平均減少 7.5 天，水稻幼穗形成期以後下雨日數明顯較往年少，僅為 16.0 天，而過去十年的平均值則為 23.2 天，因此本期作天候狀況較佳，有利穀粒生產(表七)。所以雖然高量氮素(210 kg/ha)施用區之水稻植株生長甚茂盛，甚至稻株相互擁擠，但在良好的氣候條件下，並未有如倒伏及病蟲害明顯滋生的現象生長，故有較高產量(王，1985；連，1982、1996；王等，2002b)。

Table 4. Effect of different fertilizer treatments on the yield and yield components of rice.

Treatment	Panicle number per hill	Grain number per panicle	Hundred grain weight (g)	Grain yields (kg ha^{-1})	Harvest index (%)
$N_{130}P_{15}K_{15}$	16.3^{y}	86	2.31	6026	48.2
$N_{130}P_{15}K_{40}$	16.7	107	2.30	6819	47.4
$N_{130}P_{30}K_{15}$(11^{x})	16.8(1.6^{z})	104(10)	2.39(0.12)	6124(605)	49.6(1.3)
$N_{130}P_{30}K_{40}$(13)	16.9(1.8)	106(13)	2.41(0.05)	6353(492)	49.4(2.0)
$N_{130}P_{50}K_{15}$(2)	17.8(0.2)	100(4)	2.30(0.04)	5906(674)	49.3(2.5)
$N_{130}P_{50}K_{40}$(4)	16.9(1.4)	104(9)	2.40(0.04)	6288(958)	51.4(0.7)
CK(4)	19.1(0.9)	101(9)	2.26(0.12)	7616(535)	48.3(1.8)

^{x}：number of replicate ^{y}：average of replicate ^{z}：standard deviation of replicate

Table 5. Effect of different phosphorus fertilizer application on the yield and yield components of rice.

Treatment	Panicle number per hill	Grain number Per panicle	Hundred grain weight (g)	Grain yields (kg ha^{-1})	Harvest index (%)
$N_{130}P_{15}$(2^{x})	16.5^{y}(0.2^{z})	96(15)	2.31(0.01)	6423(561)	47.8(0.6)
$N_{130}P_{30}$(24)	16.9(1.7)	105(11)	2.40(0.09)	6248(547)	49.5(1.7)
$N_{130}P_{50}$(6)	17.2(1.2)	103(7)	2.37(0.06)	6161(825)	50.7(1.6)
CK(4)	19.1(0.7)	101(14)	2.23(0.12)	7616(535)	48.3(1.8)

^{x}：number of replicate ^{y}：average of replicate ^{z}：standard deviation of replicate

Table 6. Effect of different potassium fertilizer application on the yield and yield components of rice.

Treatment	Panicle number per hill	Grain number Per panicle	Hundred grain weight (g)	Grain yields (kg ha^{-1})	Harvestindex (%)
$N_{130}K_{15}$(14^{x})	17.0^{y}(1.5^{z})	103(10)	2.37(0.12)	6086(569)	49.5(1.4)
$N_{130}K_{40}$(18)	17.0(1.6)	106(11)	2.40(0.05)	6365(589)	49.7(2.0)
CK(4)	19.1(0.7)	101(14)	2.23(0.12)	7616(535)	48.3(1.8)

^{x}：number of replicate ^{y}：average of replicate ^{z}：standard deviation of replicate

Table 7. Days of precipitation during the crop season and compare with past 10 years (day).

Days after transplanting (DAT)	2003	1993-2002
1-120	35	42.5
1-30	9	8.3
30-60	10	11
60-84	6	8
84-120	10	15.2

(二)不同生育時期的乾物產量及氮磷鉀要素吸收量之比較

不同肥料處理間水稻各生育時期之乾物質產量如表 8，分櫱盛期時各處理間乾物質產量並無顯著差異，此乃因分櫱盛期時各處理區植株生長之乾物量甚少，僅約為收穫時之 2％左右，因此對營養元素之需求較低，來自土壤中營養元素及所施的肥料所供應之營養元素的量，已足以滿足水稻生長所需之故。

Table 8. Effect of different fertilizer treatments on the dry matter yield of rice at various growth duration (g plant^{-1}).

Treatment	30 DAT*	60 DAT	84 DAT	120 DAT
$N_{130}P_{15}K_{15}$	1.47^y	23.3	39.8	66.9
$N_{130}P_{15}K_{40}$	1.36	32.0	48.4	86.4
$N_{130}P_{30}K_{15}$(11^x)	1.26(0.32^z)	20.0(2.8)	43.1(2.1)	85.3(2.6)
$N_{130}P_{30}K_{40}$(13)	1.24(0.21)	19.1(3.0)	45.1(2.1)	87.7(2.7)
$N_{130}P_{50}K_{15}$(2)	1.19(0.72)	16.3(1.0)	45.1(5.6)	83.2(1.1)
$N_{130}P_{50}K_{40}$(4)	0.99(0.44)	20.5(3.1)	43.7(5.7)	82.4(2.1)
CK(4)	1.35(0.46)	29.1(0.9)	62.3(4.2)	88.6(2.4)

^{x}：number of replicate ^{y}：average of replicate ^{z}：standard deviation of replicate
*：DAT, days after transplanting

幼穗形成期時，水稻生長量已明顯增多，根系發達且分佈廣(Broadbent and Mikkelsen, 1968)，對養分的需求量較前期高，分櫱數顯著增加，水稻葉面積增大以提高光合作用速率，植體總乾物重比分櫱盛期激增 14 至 23 倍，而磷鉀肥用量較少之 $P_{15}K_{15}$ 處理抽穗期及收穫期植株乾物質產量則明顯較其他處理低(表 8)。比較不同磷肥用量處理，顯示 P_{15}(每公頃施 P_2O_5 15 公斤)處理之水稻在幼穗形成期至抽穗期之期間乾物質增加量顯著低於其他處理(圖 1)，而不同鉀肥用量處理對乾物質產量之影響(圖 2)，則無此情形。由於磷素牽涉細胞多項重要生理功能如能量代謝等，於作物生殖器官在生長分化時尤為重要(王，1985；Mengel and Kirkby, 1982)，推測水稻幼穗形成期至抽穗期係穗部分化的重要時期，需要多量的磷素供應穗部組織生長分化所須的，若依現行磷肥力診斷具較磷肥力區，而推薦較低的磷肥用量，顯然至此一時期無法提供足量的有效磷給水稻生長利用。抽穗期以後時植體總乾物質重的增加趨於緩和，除 CK 處理增加較少僅為 26.3g 外，各處理間差異不大，約介於每株 39.8 至 48.4g 之間。

圖 3 中也顯示較少磷用量區 P_{15} 水稻在生育中後期之幼穗形成期至抽穗期之期間，以及抽穗期至收穫期之期間，氮素之吸收明顯較其他處理少，而 CK 處理水稻在抽穗期已吸收累積大量氮素，明顯高於其他處理，因而在生育後期氮素吸收量也較少。而不同鉀肥用量對氮素吸收之影響則顯示 $N_{130}K_{15}$ 及 $N_{130}K_{40}$ 兩處理間並無差異，$N_{210}K_{70}$ 處理因氮肥用量較多，故氮素吸收量也明顯較多(圖 4)。

圖 5 中也顯示較低磷肥用量區(P_{15})水稻在幼穗形成期至抽穗期之期間磷的吸收量明顯低於其他處理，而高量肥料處理（CK)，則

因在抽穗期已吸收大量磷素，故在抽穗期之後之吸收量也明顯較少。而不同鉀用量處理則對磷吸收並無明顯差異(圖 6)。圖 7 更顯示較少磷肥用量極明顯影響鉀素的吸收，幼穗形成期至抽穗期之期間鉀吸收量甚至減少，而 CK 處理在抽穗期植株已吸收高量的鉀素，抽穗期以後之鉀吸收量也呈負成長的情形(圖 8)。會呈現負增加現象，應爲部份老葉枯乾脫落，故測定之鉀吸收量減少，另外則因鉀素在植株中以鉀離子的型態存在，也能因雨水的淋洗，而有少量的洗失，而導致總吸收量減少。

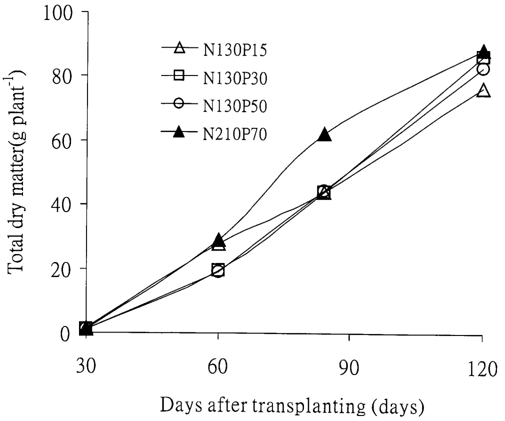

Fig. 1. Effects of different P rates on the total dry matter accumulated of rice at various growth stage (2003 1st crop).

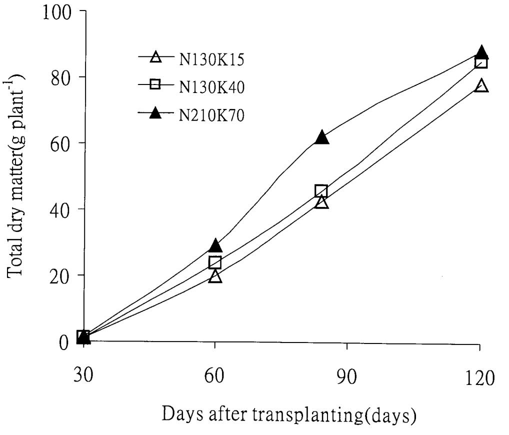

Fig. 2. Effects of different K rates on the total dry matter accumulated of rice at various growth stage (2003 1st crop).

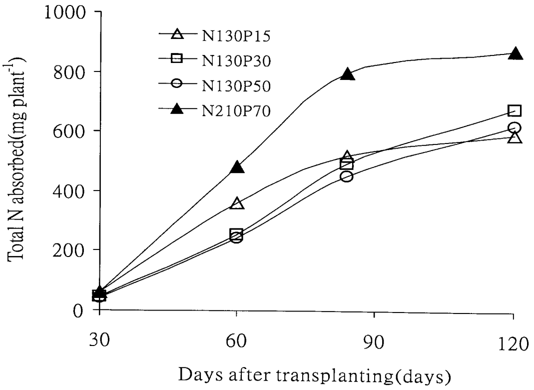

Fig. 3. Effects of different P rates on the total N accumulated of rice at various growth stage (2003 1st crop).

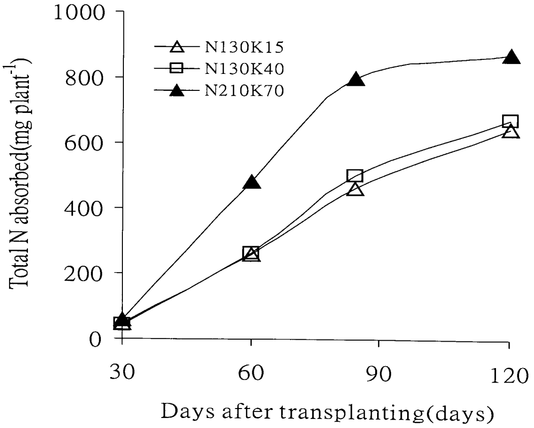

Fig. 4. Effects of different K rates on the total N accumulated of rice at various growth stage (2003 1st crop).

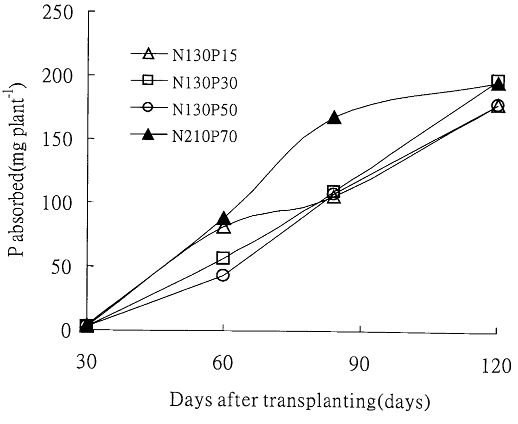

Fig. 5. Effects of different P rates on the P accumulated of rice at various growth stage (2003 1st crop).

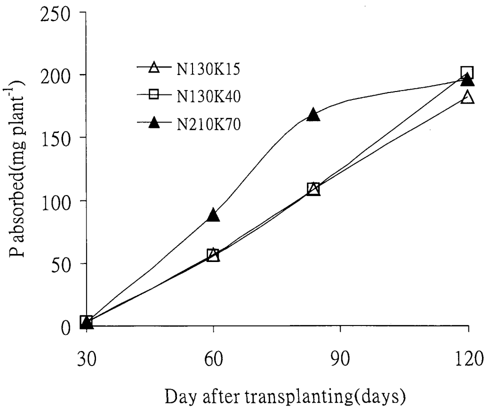

Fig. 6. Effects of different K rates on the P accumulated of rice at various growth stage (1st crop, 2003).

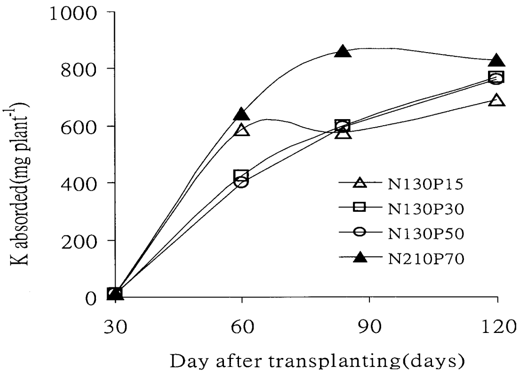

Fig. 7. Effects of different P rates on the K accumulated of rice at various growth stage (2003 1st crop).

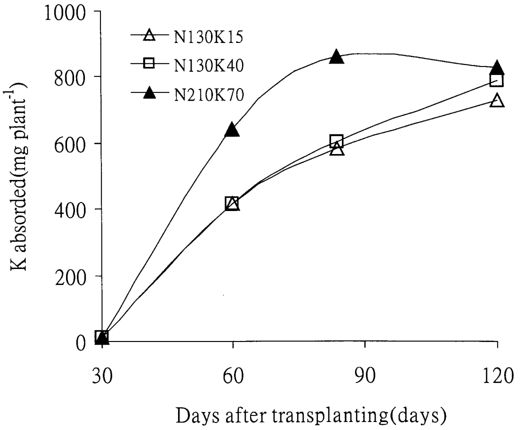

Fig. 8. Effects of different K rates on the K accumulated of rice at various growth stage (2003 1st crop).

(三)各生育階段乾物增加量之比較

表 9、表 10、表 11 及表 12 中，分別比較不同生育階段各處理區水稻之乾物累積量及氮、磷、鉀要素的吸收量，顯示較低磷肥用量區水稻在幼穗形成期至抽穗期之乾物累積量明顯較其他處理少，而氮、磷、鉀要素之吸收量此時也明顯較低，甚至抽穗期至收穫期之間之吸收量也較其他處理低。而高量肥料區之水稻在抽穗期時已生產大量乾物及吸收多量氮、磷及鉀素，因而在抽穗期以後之增加量也明顯較少。

Table 9. Effect of different P fertilizer rates on the dry matter accumulated of rice at various growth duration (ton ha^{-1}).

Treatment	1-30 DAT*	30-60 DAT	60-84 DAT	84-120 DAT
$N_{130}P_{15}$ (2^x)	$0.24^y(0.01^z)$	4.36(1.04)	2.74(0.01)	5.42(1.28)
$N_{130}P_{30}$ (24)	0.20(0.05)	3.02(0.48)	4.09(0.93)	6.98(1.22)
$N_{130}P_{50}$ (6)	0.18(0.08)	3.00(0.93)	4.17(1.41)	6.41(1.28)
CK (4)	0.22(0.07)	4.61(0.61)	5.53(1.80)	4.37(2.63)

^{x}: number of replicate ^{y}: average of replicate ^{z}: standard deviation of replicate

*: DAT, days after transplanting

Table 10. Effect of different P fertilizer rates on the total N accumulated of rice at various growth duration (kg ha^{-1}).

Treatment	1-30 DAT*	30-60 DAT	60-84 DAT	84-120 DAT
$N_{130}P_{15}$ (2^x)	$10.3^y(1.0^z)$	49.8(14.2)	26.7(1.7)	12.3(15.6)
$N_{130}P_{30}$ (24)	7.46(1.96)	35.2(5.6)	39.2(16.1)	31.2(14.6)
$N_{130}P_{50}$ (6)	6.66(3.49)	33.7(11.4)	33.2(14.3)	28.1(14.6)
CK (4)	9.85(2.97)	70.7(16.0)	31.8(16.8)	12.7(28.4)

^{x}: number of replicate ^{y}: average of replicate ^{z}: standard deviation of replicate

*: DAT, days after transplanting

Table 11. Effect of different P fertilizer rates on the P accumulated of rice at various growth duration (kg ha^{-1}).

Treatment	1-30 DAT*	30-60 DAT	60-84 DAT	84-120 DAT
$N_{130}P_{15}$ (2^x)	0.60^y(0.21^z)	13.0(3.3)	4.08(0.03)	12.1(2.1)
$N_{130}P_{30}$ (24)	0.47(0.13)	9.04(1.31)	8.75(2.64)	14.7(3.3)
$N_{130}P_{50}$ (6)	0.40(0.11)	8.37(2.42)	9.23(4.0)	11.8(5.8)
CK (4)	0.44(0.14)	14.3(1.9)	13.2(5.3)	4.69(7.41)

x：number of replicate y：average of replicate z：standard deviation of replicate
*：DAT, days after transplanting

Table 12. Effect of different P fertilizer rates on the K accumulated of rice at various growth duration (kg ha^{-1}).

Treatment	1-30 DAT*	30-60 DAT	60-84 DAT	84-120 DAT
$N_{130}P_{15}$ (2^x)	2.20^y(1.40^z)	95.8(21.6)	-2.19(8.79)	19.1(3.0)
$N_{130}P_{30}$ (24)	1.93(0.66)	68.5(10.7)	29.3(18.2)	28.5(18.9)
$N_{130}P_{50}$ (6)	1.80(0.44)	64.8(20.0)	32.7(19.6)	27.3(13.7)
CK (4)	1.66(0.61)	105(18)	36.4(32.2)	-5.3(44.4)

x：number of replicate y：average of replicate z：standard deviation of replicate
*：DAT, days after transplanting

而表 13、表 14、表 15 及表 16 則顯示不同鉀量處理間，水稻乾物量及氮、磷、鉀要素吸收量，以 K_{40} 略高於 K_{15}，惟其之差異較少，CK 處理有最高的乾物產量及要素吸收量，應與其施用多量氮肥有關。

Table 13. Effect of different K fertilizer rates on the dry matter accumulated of rice at various growth duration (ton ha^{-1}).

Treatment	1-30 DAT*	30-60 DAT	60-84 DAT	84-120 DAT
$N_{130}K_{15}$ (14^x)	0.21^y(0.06^z)	3.02(0.48)	4.00(1.24)	6.57(1.52)
$N_{130}K_{40}$ (18)	0.19(0.04)	3.15(0.80)	4.04(0.90)	6.93(1.04)
CK (4)	0.22(0.07)	4.61(0.61)	5.53(1.80)	4.37(2.63)

x：number of replicate y：average of replicate z：standard deviation of replicate
*：DAT, days after transplanting

Table 14. Effect of different K fertilizer rates on the total N accumulated of rice at various growth duration (kg ha^{-1}).

Treatment	1-30 DAT*	30-60 DAT	60-84 DAT	84-120 DAT
$N_{130}K_{15}$ (14^x)	7.65^y(2.73^z)	35.2(5.3)	34.8(14.6)	30.4(16.9)
$N_{130}K_{40}$ (18)	7.36(2.06)	36.3(9.7)	40.0(16.4)	28.8(13.6)
CK (4)	9.85(2.97)	70.7(16.0)	31.8(16.8)	12.7(28.4)

x：number of replicate y：average of replicate z：standard deviation of replicate
*：DAT, days after transplanting

Table 15. Effect of different K fertilizer rates on the P accumulated of rice at various growth duration (kg ha^{-1}).

Treatment	1-30 DAT*	30-60 DAT	60-84 DAT	84-120 DAT
$N_{130}K_{15}$ (14^x)	0.50^y(0.12^z)	8.93(1.48)	8.81(3.61)	12.1(4.4)
$N_{130}K_{40}$ (18)	0.44(0.14)	8.84(3.19)	8.85(3.24)	15.4(2.9)
CK (4)	0.44(0.14)	14.3(1.9)	13.2(5.3)	4.69(7.41)

x：number of replicate y：average of replicate z：standard deviation of replicate
*：DAT, days after transplanting

Table 16. Effect of different K fertilizer rates on the K accumulated of rice at various growth duration (kg ha^{-1}).

Treatment	1-30 DAT*	30-60 DAT	60-84 DAT	84-120 DAT
$N_{130}K_{15}$ (14[x])	2.01[y](0.60[z])	67.1(11.4)	28.4(20.1)	23.7(17.1)
$N_{130}K_{40}$ (18)	1.86(0.70)	67.2(24.1)	31.7(27.1)	30.8(17.4)
CK (4)	1.66(0.61)	105(18)	36.4(32.2)	-5.3(44.4)

x : number of replicate y : average of replicate z : standard deviation of replicate
* : DAT, days after transplanting

（四）植株要素濃度與稻穀生產之關係

圖 9 顯示水稻幼穗形成期植株之磷濃度與單位面積的穀粒數呈顯著正相關。盛澄淵等(1964)報告指出，於桃園紅壤水稻試區，於水稻齊穗期植株磷含量在 0.3 % 以下者，尚有增施磷肥而增產的空間，而本試驗之推薦施肥區之水稻植株在幼穗形成期之磷含量，甚多低於 0.3 % (圖 9)。由於此時期以後，為穗部分化的重要時期，顯示在穎花分化生長時，職司細胞重要功能之磷素如果缺乏，對稻穀生產將有不良的影響。惟其對產量的影響幅度較少，不似氮肥具有明顯的增產效應。此與前人的報告之磷鉀肥對水稻產量之效應明顯低於氮肥之結果相符(Chu, H.F.，1961；Lin, C.F.，1984、1985；Lian, S.，1999)。

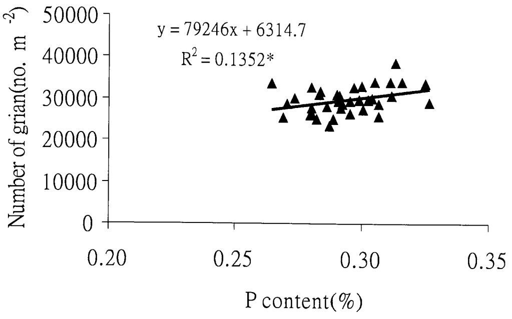

Fig. 9. Relationship between grain number per panicle and P content of rice at panicle initiation stage (2003 1st crop).

圖 10 顯示稻穀產量與幼穗形成期植株氮含量呈極顯著正相關，高量氮肥用量處理（N 210 公斤/公頃）之產量顯著高於 N 130 公斤/公頃之各處理，顯示氮肥的影響甚大，且明顯高於磷鉀肥的影響。尤其本期作植株幼穗形成期 N 130 公斤/公頃之各處理氮素含量明顯較往年的結果低，應為受水稻生長之多量乾物質稀釋所致，本年度其他水稻試驗亦有相同之結果(王等，2003)，亦即本期作水稻生育期間較佳的氣候環境有利於水稻的生長與乾物生產，因產能提高，對營養元素的需求也增加，故本期作較現行氮肥用量推薦量增加氮素用量，仍明顯有較大的增產結果。

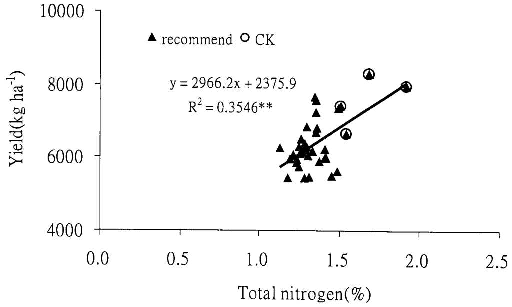

Fig. 10. Relationship between grain yield with N content of rice at panicle initiation stage (2003 1st crop).

四、結論

應用土壤肥力診斷，來推薦磷肥用量係依據前人研究之成果，為代表各種條件之平均值，而本期作之氮條件甚有利於水稻生長及乾物生產，因生長量增加故對營養元素的需求也增加，而因依現行土壤磷肥力診斷具較高有效磷含量，而施用較低量磷肥之處理區，水稻明顯呈現磷肥供應不足，影響水稻生育及稻穀生產。磷、鉀要素對水稻產量之影響明顯較氮素小。

五、誌謝

本研究承行政院農委會補助經費(計畫編號 91 農科-5.1.3-農-C2(4))始得完成，特此致謝。

六、引用文獻

王銀波。1985。植物營養學。p.23-25。國立中興大學出版。

王鐘和、林毓雯、黃維廷、江志峰。2002a。水稻合理施肥技術。p.11-24。作物合理化施肥技術研討會專刊。中華永續農業協會、農業試驗所編印。

王鐘和、艾慶平、丘麗蓉、林毓雯、鍾仁賜。2002b。施用不同有機資材對玉米、水稻輪作物生產之影響。p.181-218。農業土壤生態品質及生產力研討會【水旱田輪作系統及有機質應用對土壤品質及生產力之影響】論文集。中興大學土壤環境科學系、中華土壤肥料學會編印。

王鐘和、林毓雯、丘麗蓉、陳琦玲、劉滄棽。2003。肥料深施及穗肥對水稻產量之效應及診斷研究。水稻精準農耕研究成果研討會論文集（編印中）。

朱鈞。1975。穀類作物高產量之生理與形態之特性。科學農業，23:104-107。

作物施肥手冊。1966。行政院農業發展委員會、臺灣省政府農林廳編印。

連 深。1982。水稻之植物營養研究發展。p.45-47。臺灣省土壤肥料學會三十周年紀念特刊。

連深。1986。參、水稻, 10-31 頁，行政院農業委員會農業試驗所，作物施肥手冊，第二版。霧峰，臺中。

張正賢、曾美倉。1982。水稻產量構成因素及其影響因子。科學農業，30:318-322。

張萬來、楊遜謙。1965。生育環境對稻穀產量及構成因素之效果。農業研究 14：2（23）。

盛澄淵、蘇楠榮、林銅鐘、馮明彬。1964。桃園紅壤磷鉀含量與水稻營養及肥料效應之關係。中華農學會報，新 48：18-34。

黃脩惠。2001。不同氮肥對水稻-玉米耕作體系中生長與養分吸收的影響。國立臺灣大學農業化學研究所碩士論文，臺北，臺灣。

黃眞生。1978。I.2 臺灣水稻第二期作低產之原因。P.29-36。謝順景、劉大江主編,臺灣二期作稻低產原因及解決方法研討會專集，行政院國家科學委員會，臺北。

Blackmore, B.S., P.N. Wheeler, J. Moris, R.M. Moris and R.J.A. Jones. 1995. The role of precision farming in sustainable agriculture : A European perspective. p.777-793. *In*: ”Site-Specific Management for Agricultural Systems”. Robert, P.C., R.H. Rust and W.E. Larson (eds.). ASA, CSSA, SSSA.

Broadbent, F.E., and D.S. Mikkelsen. 1968. Influence of placement on uptake of tagged nitrogen by rice. Agron. J. 60:674-677.

Dofing, S.M., and C.W. Knight. 1994. Yield component compensation in uniculm barley lines. Agron. J. 86:273-276.

Mengel,K.and E.A.Kirkby 1982 Principles of Plant Nutrition. p.437-540. published by International Potassh Institute P.O.Box, CH-3048 Wordlaufen-Berny Switzerland.

Pieerce, F.J. and E.J. Sadler (eds.). 1997. “The state of Site Specific Management for Agriculture” . ASA, CSSA, SSSA.

Su, N.R. 1972. The fertility status of Taiwan soils. *In*:“Soil of the ASPAC Region”. ASPAC FFTC Tech.Bull.No.8.

Su, N.R. 1975. Fertilizers applications to rice in Taiwan, ASPAC FFTC Extension Bull. No.60.

Application and Diagnosis Technique of Soil Fertility in Precision Agriculture

Chung-Ho Wang*[1], Chih-Feng Chiang[1] and Yuan Shen[2]
[1]Division of Agricultural Chemistry, Agricultural Research Institute, COA, Taichung, Taiwan, ROC
[2]Department of Soil and Environmental Sciences, Nation Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC
E-mail：chwang@wufeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

Designed according to recommendation of current soil fertility diagnosis, different rates of fertilizer trial with conventional farms' use as check is conducted to investigate yield difference and variation of dry matter accumulation and nutrients uptake various growth phases of rice. The result indicated yield in N 130 kg/ha treatment responded lower than check（N 210 kg/ha）by 18 %, and during heading stage dry matter production of recommended N 130 kg/ha also significantly less than that of check. The dry matter accumulated and mineral N,P,K,. and uptake during panicle initiation stage to maturity stage of rice grown in the lowest P fertilizer rates plot (P_2O_5 15 kg/ha) were lower than other treatments. P content of rice at panicle initiation stage had significantly positive relation with grain number per unit area, but its' effect was less than the effect of N. Grain yield had significantly positive relation with N content of rice at panicle initiation stage. Derived from soil fertility diagnosis and reference experimental results, recommended rate of P_2O_5 represent an average of various conditions. As climate condition in this crop favored rice growth, nutrient demand accordingly raised for dry matter production. Thus, low P_2O_5 treatment plot diagnosed as containing abundant soil available P, was observed insufficient P supply to rice influencing its growth and grain production. Besides, influences of P and K contributing to rice yield were apparently much less than that of N.

Key words：Rice, Soil fertility diagnosis, Precision fertilization.